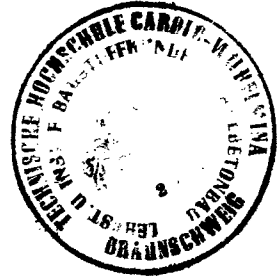


Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung
Technische Hochschule Braunschweig



Körperschalluntersuchungen an
Wohn-Hochhäusern
verschiedener Bauweisen

von

o.Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Kristen
Dipl.-Phys. H.W. Müller
El.-Ing. Palazy

Juni 1956

Die Untersuchungen wurden durchgeführt im Auftrage
und mit Unterstützung des Herrn Bundesministers für
Wohnungsbau, Bonn
Forschungsauftrag: Az.: II - 4112 Nr. 68

DK 699.844:534.833.4.001.5

Inhaltsübersicht

	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Bedeutung der Körperschallausbreitung im Wohnungsbau und Ziel der Untersuchungen	1
1.2 Allgemeine Bemerkungen zur Schallausbreitung in Bauteilen	3
2. Angewandte Meßverfahren und Durchführung der Untersuchungen	3
3. Bautechnische Angaben über die untersuchten Wohn-Hochhäuser	4
3.1 Porenbeton-Schalenbauweise	4
3.2 Stahlbeton-Bauweise	4
3.3 Stahlbeton-Skelett-Bauweise	5
3.4 Gitterziegel-Bauweise	5
4. Zusammenstellung der Meßergebnisse	6
4.1 Allgemeine Untersuchungsergebnisse	6
4.2 Bestimmung der vertikalen Körper- schallausbreitung	8
4.21 Festlegung der Körperschall- und Luftschallpegel bei punktförmiger Anregung	8
4.22 Festlegung der Körperschall- und Luftschallpegel bei Trittschall- hammerwerk-Anregung	12
5. Körperschallausbreitungsmessungen in horizontaler Richtung	16
6. Zusammenfassung	20
6.1 Vertikale Körperschallausbreitung	20
6.2 Horizontale Körperschallausbreitung	21
Schrifttum	22
Anlagen 1 bis 7	

ungleich größere Bedeutung zu als bei kleineren Bauwerken. Daher ist es gerade bei Wohn-Hochhäusern erforderlich, neben einer günstigen Schalldämmung der Wände und Decken auch eine möglichst geringe Körperschallfortleitung der Wandbaustoffe anzustreben. Eine geringe Körperschallfortleitung ist aber im wesentlichen mit einer größeren Materialdämpfung und einer größeren Stoßstellendämpfung der verwendeten Baustoffe bzw. Bauteile verbunden.

Es war der Zweck der folgenden Untersuchungen, die wirksame Körperschallfortleitung an Wohn-Hochhäusern unterschiedlicher Bauweisen zu bestimmen und mit einander zu vergleichen. Im einzelnen wurden folgende Hochhaus-Bauten untersucht:

- a) Porenbeton-Schalenbau : Braunschweig, Okerstraße
- b) Stahlbeton : Hamburg, Grindelberg
- c) Stahlbeton-Skelett : Hamburg, Grindelberg
- d) Gitterziegel : Kassel, Goethestraße

Bekanntlich hängt die Schall-Energieverteilung innerhalb eines Gebäudes von seiner Grundrißgestaltung ab. Leider war es nicht möglich, die genannten Bauten mit gleicher Grundrißanordnung zu untersuchen, so daß die erhaltenen Ergebnisse zwar nicht in ihrer absoluten Größe vergleichbar sind, sich aber durchaus relative Vergleichsmöglichkeiten für die horizontale und vertikale Körperschallausbreitung ergeben.

Eine Einzelbestimmung der die Nebengewegübertragung beeinflussenden Größen ist an einem Fertiggebäude nur schwer und mit großem experimentellen Aufwand möglich. Da in der Praxis die genannten Größen die Nebengewegübertragung nur gekoppelt beeinflussen, wurde der Schwerpunkt der Messungen auf die Bestimmung der Gesamtwirkung der Einzelgrößen gelegt.

Die Bauweise mit geringster Hellhörigkeit ist die mit einer größten Körperschallpegelabnahme je Geschoß (vertikal) oder je Raum (horizontal). Neben der Verfolgung des Hauptzieles der Untersuchungen, nämlich der Festlegung der horizontalen und vertikalen Körperschallausbreitung wurden zahlreiche Nebenbeobachtungen angestellt, deren Ergebnisse wesentlich zur Erweiterung der allgemeinen Erkenntnisse der Schallausbreitung in Wohnbauten beitragen.

1.2 Allgemeine Bemerkungen zur Schallausbreitung in Bauteilen

Eine Körperschallausbreitung in Bauteilen ist gleichbedeutend mit Schwingungen, die diese Bauteile ausführen. Je größer die Schwingungsamplituden der Bauteile sind, um so größer ist auch die entsprechende Körperschallenergie, und um so größer wird auch die Schallabstrahlung dieser Bauteile in den angrenzenden Luftraum. Daher ist mit einer Körperschallübertragung immer eine Luftschallübertragung verbunden, und umgekehrt ist mit einer Luftschallabstrahlung stets eine Körperschallübertragung gekoppelt.

Bei Kenntnis des Abstrahlfaktors $[1,2]$ für die schallabstrahlenden Wand- und Deckenflächen läßt sich aus den Körperschallschnellen dieser Flächen der in dem Versuchsraum vorhandene Luftschallpegel bestimmen. Bei Bauteilen mit größerer Masse (etwa $\geq 250 \text{ kg/m}^2$) kann der Abstrahlfaktor innerhalb des zu untersuchenden Frequenzgebietes (150 bis 3000 Hz) etwa gleich 1 gesetzt werden, so daß Körperschallschnellen und Luftschallpegel einander proportional sind, d.h. je größer die Schallschnellen der Wände und Decken um so größer ist auch der in dem entsprechenden Raum herrschende Luftschallpegel.

2. Angewandte Meßverfahren und Durchführung der Untersuchungen

Je nach dem beabsichtigten Ziel der Untersuchung wurden verschiedene Körperschallanregungsarten angewandt.

- a) Luftschallanregung: Zur Anregung der Wand- und Deckenflächen wurde ein Lautsprecher benutzt, der bei den jeweiligen Meßfrequenzen, im allgemeinen $300 \pm 100 \text{ Hz}$, $700 \pm 200 \text{ Hz}$, $1400 \pm 200 \text{ Hz}$ und $2800 \pm 200 \text{ Hz}$, mit konstanter Eingangsleistung gespeist wurde.
- b) Körperschallanregung: Auf die Rohdecke eines Raumes wurde ein piezoelektrisches Anregungssystem mit Klebewachs befestigt. Die Schwingungen der angeregten Decke erzeugen Biegeschwingungen innerhalb der Wand- und Deckenflächen des gesamten

Gebäudes. Die Messungen erfolgten ebenfalls mit konstanter Eingangsleistung bei den angegebenen Frequenzwerten.

Die Körperschallschnellen v der Bauteile wurden absolut mit einem piezoelektrischen Schwingungsaufnehmer bestimmt. Dieser Schwingungsaufnehmer wurde im allgemeinen an 6 verschiedenen Meßpunkten der jeweiligen Versuchswand oder Versuchsdecke befestigt, um somit einen möglichst gesicherten Mittelwert zu erhalten.

Als Bezugsschnelle v_0 wurde in der Gleichung

$$20 \log \frac{v}{v_0} \text{ (dB)} \quad v_0 = 1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \text{ gewählt.}$$

3. Bautechnische Angaben über die untersuchten Wohn-Hochhäuser

3.1 Porenbeton-Schalenbauweise, Braunschweig, Okerstraße

Sämtliche acht Geschosse des Hochhauses hatten denselben Grundriß (s. Anlage 1). Angaben über die einzelnen Bauteile:

Außenwände: 15 cm Stahlbeton (Schüttbeton) außen mit 10 cm Porenbeton- ("Ytong") Verkleidung, innen und außen 2 cm dicker Kalkzementputz.

Wohnungs-trennwände: 15 cm Stahlbeton (Schüttbeton), beidseitig 1,5 cm dicker Kalkputz.

Zwischenwände: 7,5 cm Porenbeton ("Ytong") beidseitig 1,5 cm dicker Kalkputz.

Decken: 16 cm dicke Stahlbetondecke ohne Unterputz, Decken und Wohnungstrennwände mit den Außenwänden in einem Bauvorgang geschüttet.

Die Messungen wurden vor der Verlegung der Fußböden durchgeführt.

3.2 Stahlbeton-Bauweise, Hamburg, Grindelberg (Block X)

Das aus 18 Geschossen bestehende Wohn-Hochhaus hatte in allen Geschossen denselben Grundriß (s. Anlage 2). Angaben über die einzelnen Bauteile:

Außenwände: 38 cm dicke Stahlbeton-Pfeiler in 3 bis 4 m Abstand. Zwischenraum mit Kalksandsteinen ausgemauert.

Wohnungstrennwände: Zweischalige "Turrit"-Wände mit Zwischenraum und unterschiedlicher Dicke (s. Anlage 2)

Zwischenwände: 7,5 cm "Turrit"-Platten, beidseitig 1,5 cm dick verputzt.

Decken: 11 cm dicke Stahlbetonplatten, unterseitig 1,5 cm dicker Putz, oben 3 cm Aufbeton.

Die Messungen wurden vor Verlegung der Fußböden durchgeführt.

3.3 Stahlbeton-Skelett-Bauweise, Hamburg, Grindelberg (Block V)

Das aus 13 Geschossen bestehende Wohn-Hochhaus hatte in allen Geschossen denselben Grundriß (s. Anlage 3). Angaben über die einzelnen Bauteile:

Außenwände: In 3 - 4 m Abstand Stahlbeton-Stützen (68 x 64 bzw. 68 x 56 cm) Die Stahlträger (Doppel-T-Profil) mit Kalksandsteinen ausgemauert.

Wohnungstrennwände: Zwei Schalen "Turrit" unterschiedlicher Dicke (s. Anlage 3)

Zwischenwände: Leichte Zwischenwände aus "Turrit" verschieden dick.

Wohnungstrenndecken: 11 cm Stahlbeton, Unterseite verputzt und oben mit 3 cm dickem Aufbeton.

Die Messungen wurden vor Verlegung der Fußböden durchgeführt.

3.4 Gitterziegel-Bauweise, Kassel, Goethestr.

Das aus 10 Geschossen bestehende Wohn-Hochhaus hatte in allen Geschossen denselben Grundriß (s. Anlage 4). Angaben über die einzelnen Bauteile:

Außenwände: 1. - 5. Obergeschoß: 36,5 cm dick aus Hochlochziegeln. 6. - 10. Obergeschoß: 30 cm dick aus Hochlochziegeln, beidseitig 1,5 cm dick verputzt.

Wohnungs- 36,5 cm dick aus Hochlochziegeln, beidseitig 1,5 cm
trennwände: dick verputzt.

Innen- 11,5 cm dick aus Hochlochziegeln oder 6 cm dick
wände: aus Bims.

Wohnungs- 20 cm dicke Stahlbeton-Kassetten-Decken mit Unter-
trenndecken decke aus verputzten Schilfrohrmatten. Auf den
Decken 3,0 cm dicker Zementestrich auf Mineral-
wollematten mit Papierabdeckung.

4. Zusammenstellung der Meßergebnisse

4.1 Allgemeine Untersuchungsergebnisse (Grundlagen)

An den Wand- oder Deckenbauteilen der dem Senderraum benachbarten Räume (s. Abb. 2) wurde der Körperschallpegel bei Körper-

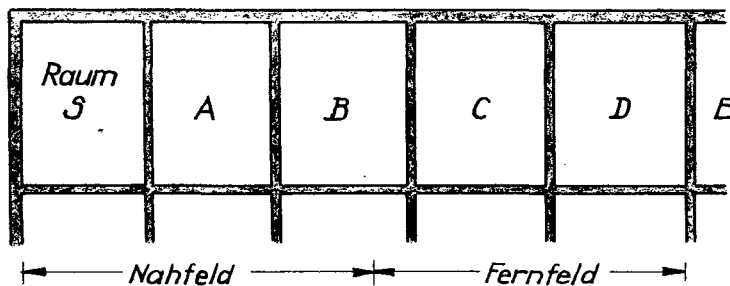


Abb. 2 Allgemeine Anordnung der Versuchsräume

oder Luftschallanregung bestimmt. Zunächst konnte für die Räume S, A und B eine relativ starke Abnahme der Körperschallenergie festgestellt werden. Dagegen war in den weiter entfernten Räumen C, D, E usw. eine

weniger starke Abnahme der Körperschallenergie zu beobachten. Entsprechend des unterschiedlichen energetischen Verhaltens der Bauteile in Bezug auf die Schallanregung werden diese beiden Bereiche als "Nahfeld" bzw. "Fernfeld" bezeichnet. Die Energieabnahme im Nahfeld ist vorwiegend von der Schallanregungsart und von dem konstruktiven Aufbau der Trennwände der Meßräume abhängig. Zur Charakterisierung der Körperschallfortleitungseigenschaften ist vorwiegend das Verhalten der Schallenergie im Fernfeld maßgebend. Daher beschränken sich die folgenden Betrachtungen auf das Fernfeld.

Eine wesentliche Erkenntnis über das Verhalten der Körperschallenergie innerhalb des Fernfeldes findet sich bereits bei Grütz-macher, Oberst, Martin [3]. Sie stellten fest, daß unter gleichen

baulichen Voraussetzungen der Räume innerhalb des Fernfeldes der Körperschallpegel in diesem Gebiet eine lineare Abnahme mit der Entfernung von der Schallquelle zeigt. Die durchgeführten Untersuchungen bestätigen diese Erkenntnis (s. Anlage 5). Sobald aber für einen Raum des Fernfeldes die gleichen baulichen Voraussetzungen im Vergleich zu den anderen (wie z.B. Endlage am Gebäude) nicht mehr bestehen, ist auch (z.B. durch die auftretenden Reflexionen) die Abnahme des Körperschallpegels nicht mehr linear.

Durch die Bestimmung der Abnahme des Körperschallpegels in horizontaler oder vertikaler Richtung werden die Einzelgrößen, welche die Körperschallfortleitung beeinflussen, in ihrer Gesamtwirkung festgelegt, und das Gefälle der linearen Körperschallabnahme ist dann ein Maß für die Körperschallausbreitung innerhalb des Bauwerkes.

Es ist bereits bekannt, [4] und es wurde durch diese Versuche nochmals bestätigt (s. Anlage 5), daß bei Luft- oder Körperschallanregung im Raum S die Abnahme des Körperschallpegels innerhalb des Fernfeldes eines bestimmten Bauteiles oder der Luftschallpegel innerhalb der verschiedenen Räume, abgesehen von einer naturbedingten relativen Verschiebung, eine gleichwertige Abnahme zeigen. (s. Anlage 5).

Daraus ist für das Fernfeld zu folgern, daß sowohl die Abnahme des Körperschallpegels als auch die Abnahme des Luftschallpegels in benachbarten Räumen einen Vergleich der Körperschallausbreitung für Bauwerke verschiedener Bauweisen zulassen. Diese Forderung unterliegt aber einer Einschränkung. Der Abstrahlfaktor der Wand- und Deckenbauteile muß nämlich in diesem Falle gleich 1 gesetzt werden, d.h., daß die Schwingungsgröße der raumbegrenzenden Bauteile etwa gleich groß sein muß. Sobald die Räume des Fernfeldes unterschiedliche Flächen mit ausgesprochen dünnen Wänden (z.B. 5 cm Wandbauplatten oder dergl.) besitzen, so wird der Luftschallpegel in den einzelnen Räumen vorwiegend von der Abstrahlung der dünnen Wände entsprechend ihres Flächenanteiles bestimmt. Ein Vergleich der Luftschallpegelabnahme und der Körperschallpegelabnahme je Raum ist dann nicht mehr möglich,

sondern es könnte nur die Pegelabnahme der einzelnen Bauteile verglichen werden.

Kristen und Müller [5] stellten auch fest, daß bei der Bestimmung der Abnahme des Körperschallpegels von Bauteilen im Fernfeld die Wahl des für die Messung verwendeten Bauteiles eines Meßraumes (wie Außenwand, Decke oder Mittelwand) von untergeordneter Bedeutung ist. So wird beispielsweise die relative Pegelabnahme für eine Außenwand, eine Decke oder eine Mittelwand in Räumen des Fernfeldes gleichwertig. Es besteht zwar eine Verschiebung in der absoluten Pegelhöhe für die verschiedenen Bauteile desselben Raumes, die relative Pegelabnahme der Räume des Fernfeldes bleibt jedoch für die genannten Bauteile gleich groß (s. Anlage 5).

Die Hellhörigkeit eines Gebäudes wird sowohl durch die horizontale als auch durch die vertikale Körperschallausbreitung beeinflusst. Beide Ausbreitungsarten sind im allgemeinen nicht direkt miteinander vergleichbar, da die baulichen Voraussetzungen des Gebäudes fast immer in diesen Richtungen unterschiedlich sind.

4.2 Bestimmung der vertikalen Körperschallausbreitung

Für die vertikale Körperschallausbreitung können verschiedene Meßverfahren angewendet werden.

4.21 Festlegung der Körperschall- und Luftschallpegel bei punktförmiger Anregung

Bei diesem Verfahren wurden im Raum S die Decken bzw. Wände körperschallmäßig (piezoelektrischer Anreger) zu Schwingungen angeregt. In den vertikal unter dem Raum S gelegenen Räumen A, B, C usw. wurden die Körperschallschnellen der jeweiligen Decken bzw. Außenwände bestimmt. Die Differenz der Körperschallschnellen, beispielsweise zwischen dem Geschoß n-1 und dem Geschoß n-2, ergibt ein Maß für die vertikale Körperschallausbreitung. Die Angabe der Meßwerte beschränkt sich auch hier auf das Fernfeld.

Bei den vergleichenden Messungen an den verschiedenen Hochhausbauweisen ist jedoch vorauszusetzen, daß die entsprechenden

Meßräume innerhalb des Gesamtgebäudes die gleiche Lage haben. Deshalb sind die Meßwerte nur von Räumen bei einer Endlage oder von Räumen bei einer Mittellage vergleichbar.

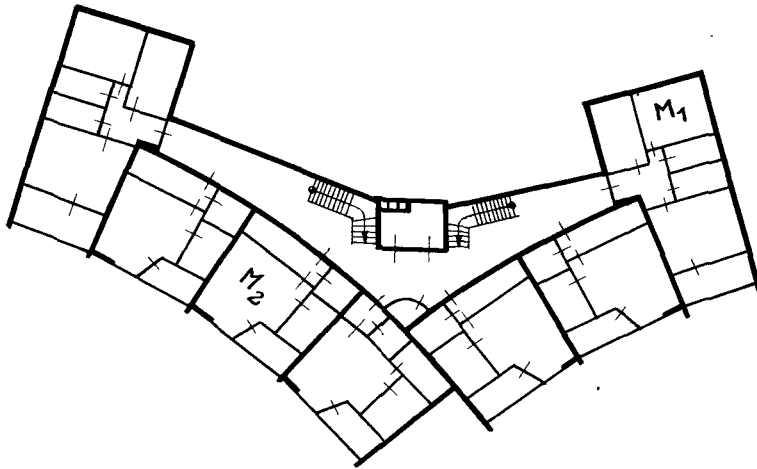


Abb. 3 Schematische Darstellung des Hochhaus-Grundrisses in Gitterziegelbauweise.
 M_1 = Meßraum in Endlage; M_2 = Meßraum in Mittellage

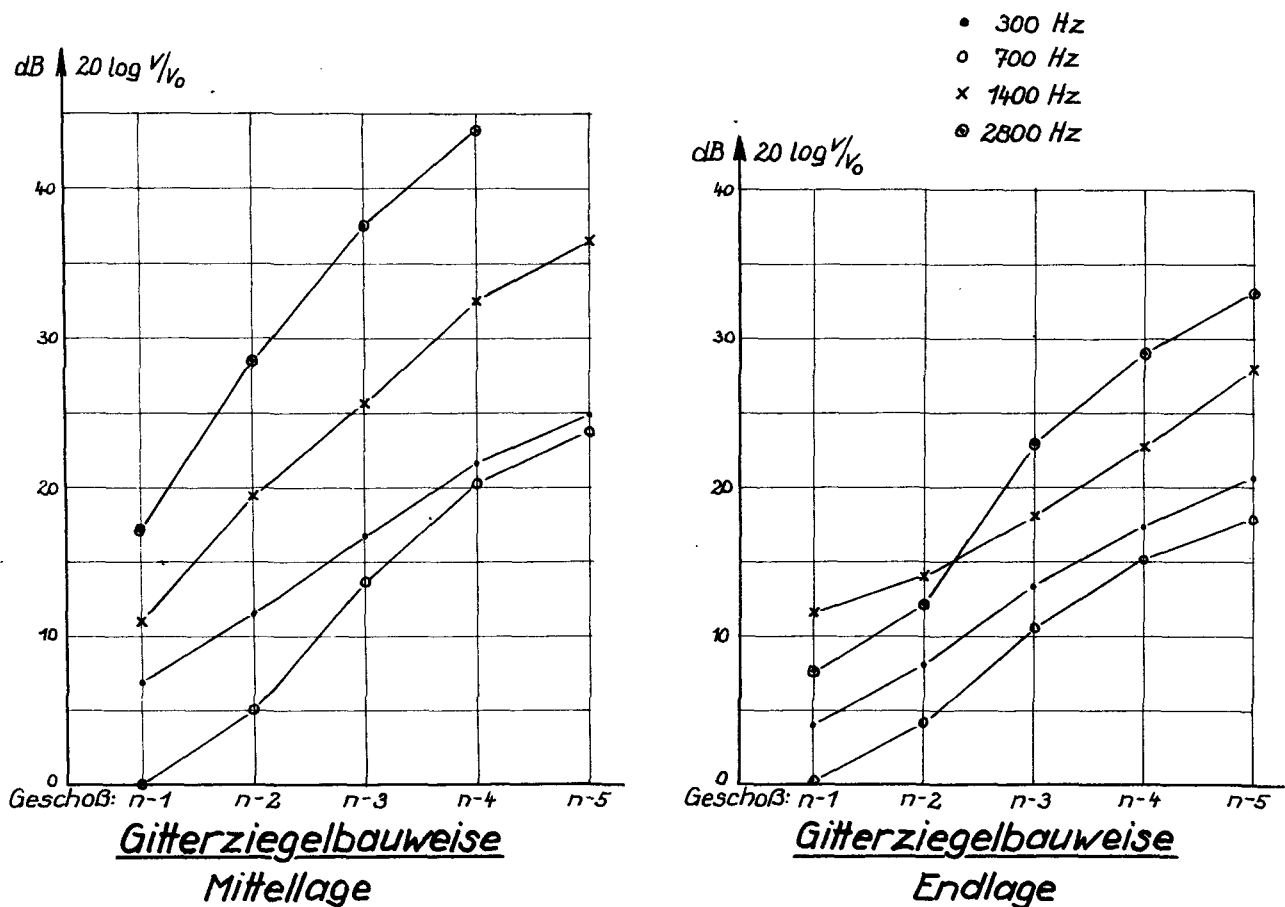


Abb. 4 Körperschallpegelabnahme für Räume bei Mittel- und Endlage innerhalb desselben Gebäudes.

An dem Hochhaus in Gitterziegelbauweise in Kassel konnte die Körperschallausbreitung für entsprechende Geschosse bei Meß-

räumen im mittleren Gebäudeteil und bei Meßräumen, die am Kopf des Gebäudes gelegen waren, mit einander verglichen werden. (s. Abb. 4)

Es ergeben sich bei den genannten baulichen Voraussetzungen im Mittel die in Tafel 1 angegebenen Körperschallabnahmen je Geschoß:

T a f e l 1

Frequenz:	Bei Mittellage	Bei Endlage
300 Hz	5,3 dB/Gesch.	3,9 dB/Gesch.
700 Hz	5,5 dB/Gesch.	4,3 dB/Gesch.
1400 Hz	6,6 dB/Gesch.	4,5 dB/Gesch.
2800 Hz	8,0 dB/Gesch.	6,0 dB/Gesch.

Zunächst läßt sich aus dieser Zusammenstellung feststellen, daß in jedem Falle mit zunehmender Frequenz die Körperschallabnahme je Geschoß wächst. Die Pegeldifferenz zwischen den einzelnen Geschossen ist aber für die Meßräume bei einer Endlage geringer als für die Meßräume bei einer Mittellage.

Diese Differenz ist dadurch zu erklären, daß die Ableitung der Schallenergie für die beiden Raumlagen unterschiedlich erfolgt:

M i t t e l l a g e : Die Körperschallenergie breitet sich sowohl horizontal als auch vertikal aus. Von der Anregungsenergie wird bereits ein Teil verbraucht, um die Bauteile des Anregungsgeschosses (horizontal) in Schwingungen zu versetzen. Für das unter dem Anregungsraum gelegene Geschoß steht also bereits ein geringer Energieanteil gegenüber einer Unterbindung des horizontalen Energieabflusses zur Verfügung.

E n d l a g e : Die Körperschallenergie wird vorwiegend vertikal übertragen, ein horizontaler Energieabfluß erfolgt nur in einer Richtung. In das unter dem Anregungsraum gelegene Geschoß wird mehr Energie übertragen gegenüber einem beidseitigen, horizontalen Energieabfluß. Somit ist auch die Körperschallpegeldifferenz je Geschoß geringer als bei einer Mittellage der Meßräume.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurden, soweit es die baulichen Gegebenheiten erlaubten, für die Lage der Meßräume innerhalb des jeweiligen Gebäudes die gleichen Voraussetzungen gewählt.

Bei vertikaler Körperschallfortleitung konnten für Meßräume in einer Mittellage die in Tafel 2 eingetragenen Meßwerte ermittelt werden. Sie stellen die mittlere Körperschallabnahme je Geschoß dar. Diese Zahlenwerte werden in dB pro Geschoß angegeben und können direkt miteinander verglichen werden, da sich die Geschoßhöhen der einzelnen Bauvorhaben nur höchstens um etwa 10 cm unterscheiden.

Die Auftragung der Meßwerte erfolgte in der Abb. 5 (s. auch Anlage 6).

T a f e l 2

Frequenz	Porenbeton-Schalenbauweise I	Stahlbeton-Bauweise II	Stahlbeton-Skelett-Bauweise III	Gitterziegel-Bauweise IV
300 Hz	-	6,9 dB/Gesch	5,5 dB/Gesch	5,3 dB/Gesch
700 Hz	7,5 dB/Gesch	8,5 dB/Gesch	7,3 dB/Gesch	5,5 dB/Gesch
1400 Hz	11,8 dB/Gesch	11,2 dB/Gesch	10,3 dB/Gesch	6,6 dB/Gesch
2800 Hz	14,0 dB/Gesch	-	-	8,0 dB/Gesch

Mit einem größeren Ordinaten-Maßstab sind der besseren Übersicht wegen diese Zahlenwerte nochmals in Abb. 5 eingetragen.

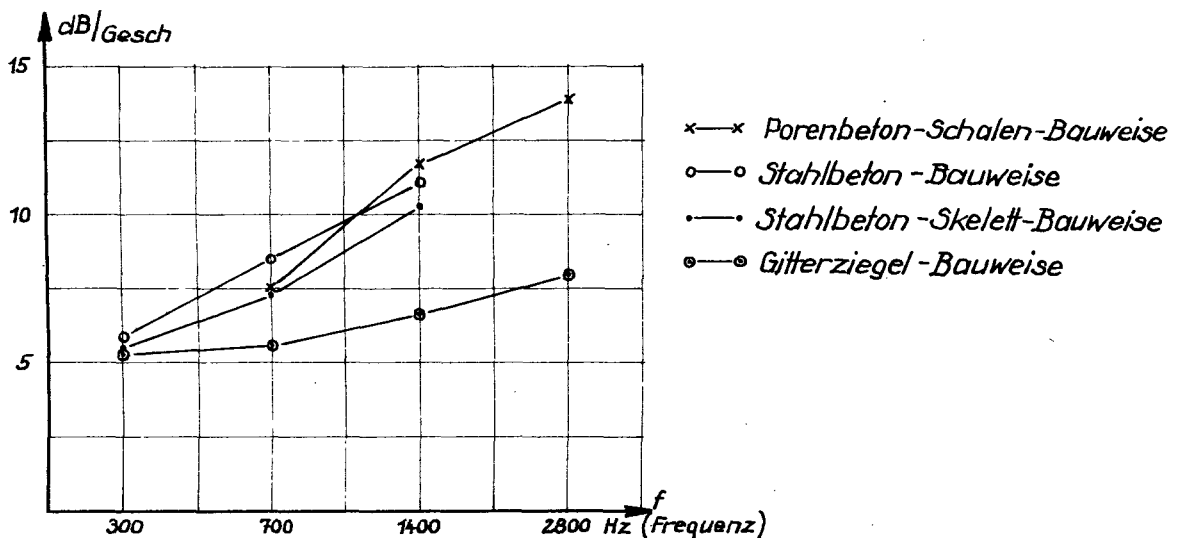


Abb. 5 Körperschallpegelabnahmen je Geschoß verschiedener Bauweisen.

Es ist zu ersehen, daß die Körperschallpegelabnahme je Geschoß bei den Bauweisen I, II und III etwa gleich groß ist,

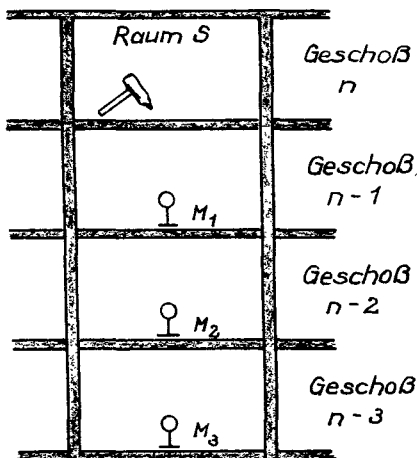
dagegen ist die Körperschallpegelabnahme der Gitterziegel-Bauweise bei allen Frequenzwerten geringer. Auch die Stahlbeton-Skelett-Bauweise zeigt gegenüber der Stahlbeton-Bauweise eine geringere Pegelabnahme. Für die untersuchten Bauweisen ergibt sich auf Grund der vertikalen Körperschallmessungen in der Reihenfolge einer erstrebenswerten günstigen Körperschalldämpfung folgende Reihenfolge:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| a. Porenbeton-Schalen-Bauweise | c. Stahlbeton-Skelett-Bauweise |
| b. Stahlbeton-Bauweise | d. Gitterziegel-Bauweise |

Die Gitterziegel-Bauweise zeigt deutlich die geringste Körperschallabnahme je Geschoß.

4.22 Festlegung der Körperschall- und Luftschallpegel bei Trittschallhammerwerk-Anregung

Ein weiteres Meßverfahren zur Bestimmung der vertikalen Körperschallausbreitung ist dadurch gegeben, daß ein Norm-Trittschallhammerwerk in dem Anregungsraum (S) eines Geschosses (n) in Betrieb genommen und in den darunter liegenden Räumen M_1 , M_2 usw. der verschiedenen Geschosse der entsprechende Schallpegel bestimmt wird. (s. Abb. 6). In dem Meßraum des Geschosses n-1



wird der durch direkte Schallabstrahlung der Decke und durch Schwingungen der Wandflächen hervorgerufene Schallpegel bestimmt. In den darunter liegenden Geschossen erzeugen nur die Körperschallschwingungen der Wand- und Deckenbauteile den zu messenden Luftschallpegel in den Meßräumen. Auch bei diesem Meßverfahren ist die Schallpegeldifferenz z.B. zwischen den Geschossen n-3 und n-4 ein Maß für die Körperschallabnahme des Fernfeldes je Geschoß.

Abb. 6 Schematische Darstellung der Meßraumanordnung

Die Körperschallausbreitung bei Anregung mit einem Norm-Trittschallhammerwerk (s. DIN 52 210) wurde an drei verschiedenen

Hochhäusern bestimmt. In den Hochhäusern waren als Decken eingebaut:

- a) Stahlbeton-Skelett-Bauweise und Stahlbeton-Bauweise: Unterseits verputzte, 11 cm dicke Stahlbeton-Vollplattendecken.
- b) Gitterziegel-Bauweise: 20 cm dicke Stahlbeton-Kassettendecken mit Unterdecke aus verputztem Rohrgewebe und schwimmendem Zementestrich.

Der in verschiedenen Geschossen bestimmte Trittschallpegel ist in der Abb. 7 frequenzabhängig eingetragen.

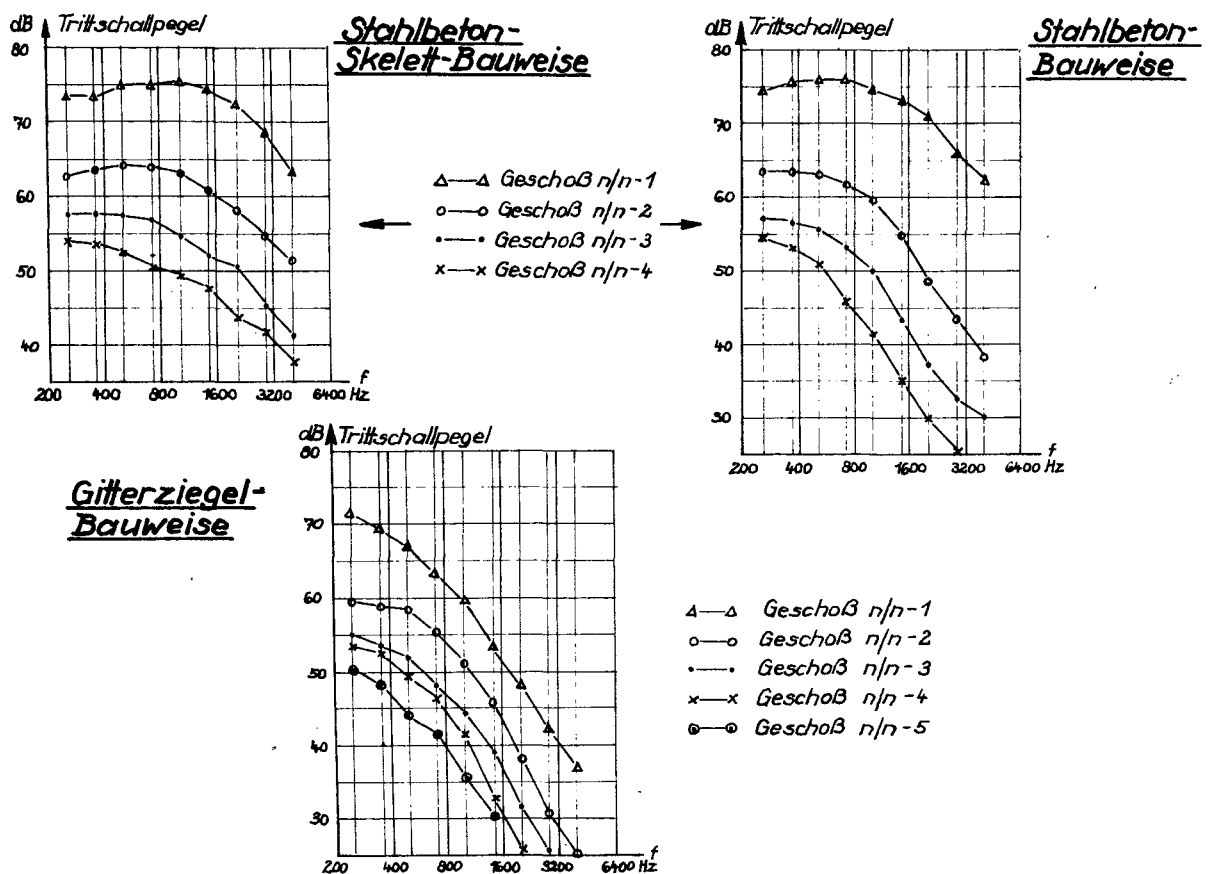


Abb. 7 Trittschallpegel in verschiedenen Geschossen

Es ist sinnvoll, die Vergleiche auf das Fernfeld zu beschränken. Die Körperschallenergie zeigt im Fernfeld eine lineare Abnahme (s. Abs. 4.21). In diesem Falle müßten die Trittschallpegel von zwei übereinanderliegenden Geschossen annähernd gleiche Pegeldifferenzen besitzen.

Diese Forderung trifft bei keinem der untersuchten Hochhaus-
typen zu, denn die Pegeldifferenzen sind in keinem Falle für
die einzelnen Geschosse als gleichwertig anzusehen. In der
folgenden Tafel 3 sind sowohl für die Ausbreitungsmessungen
auf Grund der Bestimmung der Deckenschnellen bei KS-Anregung
als auch für die Ausbreitungsmessungen auf Grund der Messung
von Schallpegeln bei Trittschallanregung die mittleren Pegel-
differenzen je Geschoß einander gegenübergestellt. (gemittelt
über 3 - 4 Geschosse). Für die Porenbeton-Bauweise konnten diese
vergleichenden Messungen nicht durchgeführt werden.

T a f e l 3

	Stahlbeton- Bauweise		Stahlbeton- Skelett- Bauweise		Gitter- ziegel- Bauweise	
Meßverfahren	TA	KA	TA	KA	TA	KA
	dB/Gesch.		dB/Gesch.		dB/Gesch.	
300 Hz	5,1	5,9	5,2	5,5	3,5	5,3
700 Hz	7,9	8,5	6,7	7,3	4,8	5,5
1400 Hz	10,1	11,2	6,7	10,3	4,7	6,6
2800 Hz	9,3	-	6,5	-	4,2	8,0

Die Abkürzungen bedeuten:

Meßverfahren TA: Anregung mit dem Norm-Trittschallhammerwerk
Bestimmung der Schallpegel in den einzelnen
Geschossen

Meßverfahren KA: Punktförmige Anregung mit einem piezoelektri-
schen System (gewobelter Sinuston) Bestimmung
der Deckenschnellen in den einzelnen Geschossen.

Aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden angewandten
Meßverfahren ist zu sehen, daß grundsätzlich die Pegeldifferen-
zen je Geschoß, die mit dem "Meßverfahren TA" gewonnen wurden,
kleiner sind, als die nach dem "Meßverfahren KA". Bei der Stahl-
betonbauweise bewegen sich die Abweichungen der beiden Meßver-
fahren noch in dem für Körperschallmessungen üblichen Bereich.
Aber bei den Meßwerten, die für die Gitterziegel-Bauweise er-
halten wurden, sind die Abweichungen erheblich.

Da diese Abweichungen der Ergebnisse für die beiden Meßverfahren für die Körperschallmeßtechnik von weittragender Bedeutung sind, wurden an einem Bauvorhaben, deren Meßraumwände in jedem Falle dicker als 17,5 cm waren, nochmals ver-

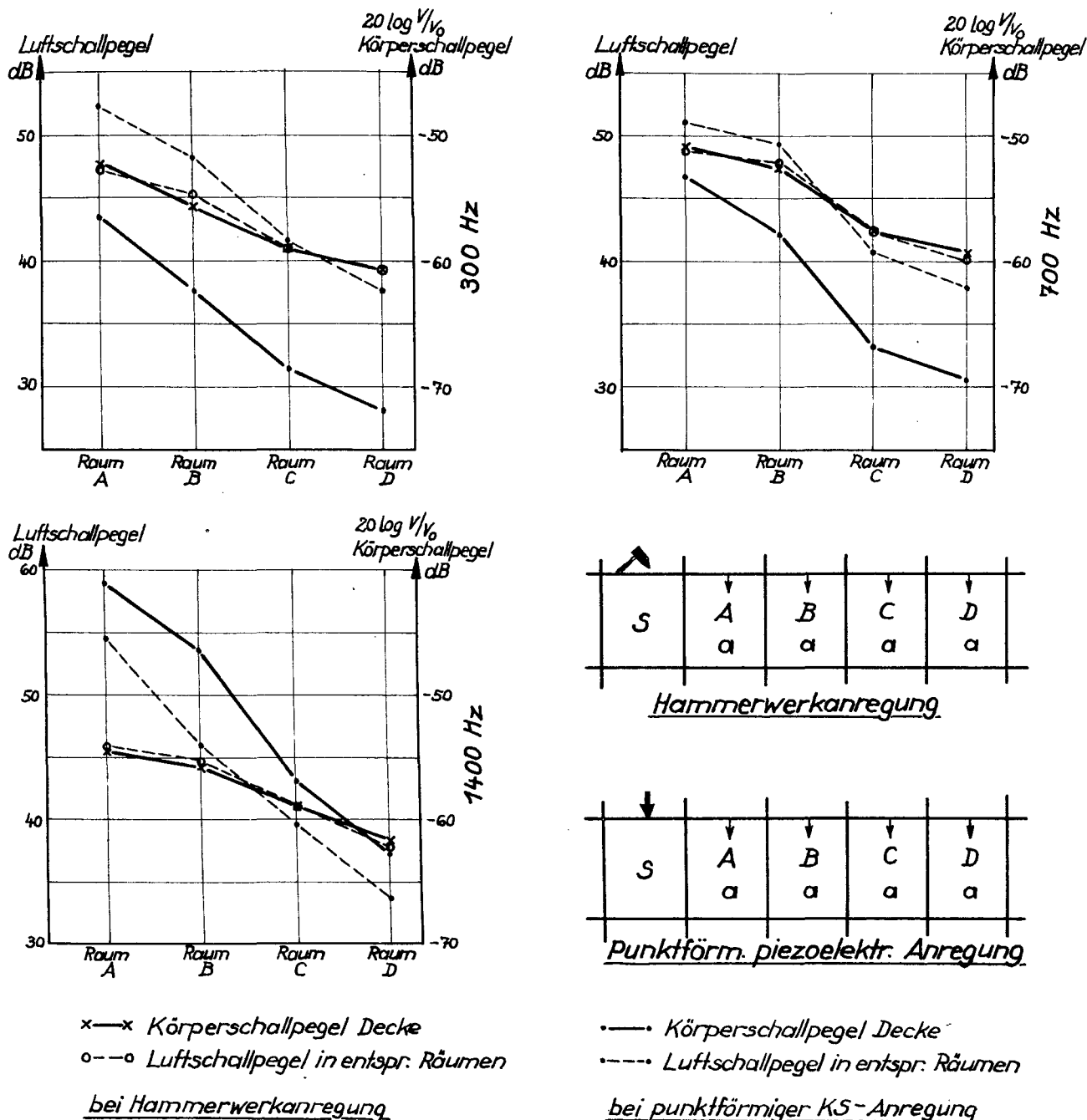


Abb. 8 Vergleich der Körperschall- und Luftschallpegel bei verschiedenen Anregungsarten.

gleichende Untersuchungen nach beiden Meßmethoden unter gleichen baulichen Bedingungen angestellt. Die erhaltenen Meßwerte sind in der Abb. 8 dargestellt.

Aus der Gegenüberstellung der Ergebnisse ist zu ersehen, daß die Abnahme des Körperschallpegels an den Decken der Meßräume und die Abnahme des Luftschallpegels in den Räumen selbst für das entsprechende Meßverfahren gleich groß sind. Jedoch ist die Abnahme der jeweiligen Pegel bei den verschiedenen Meßverfahren unterschiedlich. Diese Unterschiede in der Pegelabnahme steigen mit wachsender Frequenz in dem Sinne, daß die Schallpegel-Abnahme zwischen benachbarten Räumen bei punktförmiger piezoelektrischer Körperschallanregung stets größer ist als bei einer Schallanregung mit dem Hammerwerk.

Die Differenz in den Ergebnissen beider Untersuchungsmethoden ist, wie die vorliegenden Messungen ergeben, zu groß, um beide Verfahren gleichwertig nebeneinander stellen zu können. Zur Aufklärung dieser Unterschiede sind weitere Einzeluntersuchungen erforderlich, die bereits in Angriff genommen sind.

5. Körperschallausbreitungsmessungen in horizontaler Richtung

Während die vertikale Körperschallausbreitung vorwiegend von der Stoßstellendämpfung Decke - Außenwand und von den Fortleitungseigenschaften der Außenwände bestimmt wird, ist die horizontale Schallausbreitung von der Stoßstellendämpfung Trennwand - Außenwand und ebenfalls von den Fortleitungseigenschaften der Außenwände (und auch Mittelwände) abhängig. Daher kann nicht von vornherein erwartet werden, daß die Ausbreitungseigenschaften in horizontaler und vertikaler Richtung gleichwertig sind.

Die horizontale Körperschallfortleitung läßt sich ebenfalls wieder durch die Festlegung der entsprechenden Wand- oder Deckenschwingungen der verschiedenen Räume oder durch die Festlegung des Luftschallpegels bestimmen.

Die Bauteile wurden auch bei diesen Untersuchungen durch Körperschall oder Luftschall zu Schwingungen angeregt.

Die Gitterziegelbauweise konnte leider in die horizontalen Körperschallausbreitungs-Untersuchungen nicht mit einbezogen werden, da die Anzahl der nebeneinanderliegenden Räume zu gering war, um die Messungen auf das Fernfeld beschränken

zu können. Nach den bisherigen Erfahrungen ist nicht zu erwarten, daß durch die Krümmung der Hausfront vergleichbare Ergebnisse erhalten werden können. (s. Abb. 3).

Bekanntlich ist die horizontale Körperschallfortleitung innerhalb der Decke im wesentlichen von der Stoßstellendämpfung Decke - Trennwand abhängig. Daher ist es bei Vergleichsmessungen erforderlich, die Anzahl der Stoßstellen anzugeben, oder die innerhalb des Fernfeldes erhaltene Körperschallabnahme auf eine Stoßstelle zu beziehen. Eine Angabe der Körperschallabnahme, die auf eine Längeneinheit bezogen wird, bietet keine Vergleichsmöglichkeit.

Wenn im folgenden die Körperschallabnahme der Außenwand als Stoßstellendämpfung an einer Wohnungstrennwand angegeben wird, so lassen sich aus den ermittelten Werten noch keine Folgerungen über die körperschalltechnischen Eigenschaften der Außenwandbauweise ziehen, da Konstruktion und Material der Außenwände, der Wohnungstrennwände und der Geschoßdecken in ihrer Gesamtheit die Körperschallabnahme bestimmen.

Werden an den in verschiedenen Bauweisen eingebauten Stahlbetonplattendecken die Schwingungsgrößen bestimmt, so ergibt sich der in der Anlage 7 dargestellte Verlauf des Körperschallpegels für die nebeneinanderliegenden Räume. Aus der aufgetragenen Körperschallpegelabnahme läßt sich für die Stoßstellen der Decken mit den Wohnungstrennwänden dann eine Stoßstellendämpfung angeben. Die an den Wohnungstrennwänden erhaltenen Stoßstellendämpfungen sind in der folgenden Tafel 4 angegeben.

T a f e l 4

Bauweise	300 Hz	700 Hz	1400 Hz
Porenbeton-Schalen-Bauweise	9,0 dB	9,0 dB	10,5 dB
Stahlbeton-Bauweise	6,0 dB	4,0 dB	7,0 dB
Stahlbeton-Skelett-Bauweise	3,0 dB	6,0 dB	10,0 dB

Bei diesen Meßwerten ist eine klare Reihenfolge der Fortleitungseigenschaften der verschiedenen Bauweisen nicht erkennbar.

Aus der Auftragung (Abb. 9) ist zu entnehmen:

- a.) Die horizontale Körperschallabnahme ist im Geschoß n-1 ungleich größer als im Geschoß n-4, wie aus der unterschiedlich großen Neigung der Ausbreitungslinien erkennbar ist.

Beispiel: KS-Pegeldifferenz Raum S /C Geschoß n-1 : 21 dB
KS-Pegeldifferenz Raum S /C Geschoß n-4 : 7 dB

- b.) Die vertikale Körperschallabnahme ist in den Räumen A der verschiedenen Geschosse größer als in den Räumen D der verschiedenen Geschosse.

Beispiel: KS-Pegeldifferenz Raum S Geschoß n-1/n-4 : 19 dB
KS-Pegeldifferenz Raum C Geschoß n-1/n-4 : 5 dB

Besonders auffällig ist in Abb. 9 die Geradlinigkeit der Ausbreitungslinien in den Räumen S bis C des Geschosses n-4 bzw. in den Räumen C der verschiedenen Geschosse. Daraus kann gefolgert werden, daß der Ausbreitungsvorgang des Fernfeldes erst dann einsetzt, wenn eine Geradlinigkeit der Ausbreitungslinien vorliegt. Der Übergang vom Nahfeld zum Fernfeld könnte außerdem noch frequenzabhängig sein. Eine Bestätigung dieser Vermutung ergeben die folgenden Meßwerte:

T a f e l 5

3 0 0 Hz			7 0 0 Hz			1 4 0 0 Hz		
Raum	Geschoß	KS-Pegel-differenz	Raum	Geschoß	KS-Pegel-differenz	Raum	Geschoß	KS-Pegel-differenz
B/C	n-1 n-4	4 dB 3 dB	B/C	n-1 n-4	5 dB 5 dB	B/C	n-1 n-4	9,5 dB 3,5 dB
A/B	n-1 n-4	7,5 dB 2,0 dB	A/B	n-1 n-4	7,5 dB 4,5 dB	A/B	n-1 n-4	13,0 dB 3,5 dB

Diese Zusammenstellung zeigt, daß für 300 und 700 Hz bereits im Anschluß an den Raum B (auf die horizontale Ausbreitung bezogen) das Fernfeld zu werten ist, während sich bei 1400 Hz der Raum B noch im Nahfeld befindet. Das Fernfeld wird vermutlich bei dieser Frequenz bei dem Raum C beginnen, während Raum A für alle drei Anregungsfrequenzen noch zum Nahfeld zu zählen ist.

Diese Ergebnisse lassen die Verallgemeinerung zu; daß das Nahfeld bei tiefen und mittleren Frequenzen zwei Räume umfaßt - nämlich den Raum S, in dem sich die Schallquelle befindet und den benachbarten Raum A. Bei höheren Frequenzen ist das Nahfeld ausgedehnter; es umfaßt den Raum S und zwei benachbarte Räume. Diese Erkenntnis ist bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt worden.

6. Zusammenfassung

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurden die vertikale und die horizontale Körperschallausbreitung in Wohnhochhäusern verschiedener Bauweisen bestimmt, die erhaltenen Ergebnisse mit einander verglichen und aus diesen Ergebnissen allgemeingültige Erkenntnisse für die Körperschallausbreitung in Wohnbauten gewonnen. Im einzelnen wurden an folgenden Hochhaus-Bauweisen Untersuchungen durchgeführt:

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| a.) Porenbeton-Schalen-Bauweise | c.) Stahlbeton-Skelett-Bauweise |
| b.) Stahlbeton-Bauweise | d.) Gitterziegel-Bauweise |

6.1 Vertikale Körperschallausbreitung

Die vertikale Körperschallausbreitung wurde in übereinanderliegenden Räumen der jeweiligen Geschosse bestimmt. An den entsprechenden Decken bzw. Außen- oder Mittelwänden sind die Schnellewerte gemessen und hieraus eine mittlere Körperschallpegelabnahme je Geschoß ermittelt. Diese Körperschallpegelabnahme war abhängig von der Meßfrequenz. Aus den Meßwerten für die untersuchten Bauweisen ist zu erkennen, daß die Porenbeton-Schalenbauweise die größte Körperschallpegelabnahme je Geschoß aufweist, die Gitterziegel-Bauweise besitzt dagegen die geringste Körperschallpegelabnahme je Geschoß. Je kleiner die Körperschallpegelabnahme innerhalb eines Bauwerkes ist, umso größer wird die Schallausbreitung bzw. die Hellhörigkeit innerhalb dieses Baues. Bei einem Vergleich der Körperschallpegelabnahme pro Geschoß muß vorausgesetzt werden, daß die Meßräume in einer entsprechenden Lage (Mittel- oder Endlage) innerhalb

des Gesamtgebäudes gewählt werden. So konnten z.B. unterschiedliche Ausbreitungsvorgänge beobachtet werden, je nachdem, ob sich die Meßräume in der Mitte des Gebäudes oder am Ende (Kopf) des Bauwerkes befanden. Bei einer Endlage der Meßräume sind stets Energiereflexionen vorhanden, die eine absolute Verschiebung der Meßwerte gegenüber den Mittellagen der Meßräume verursachen. Bei Beachtung dieser Voraussetzungen sind die relativen Pegelwerte durchaus vergleichbar.

Während die Messung der vertikalen Körperschallabnahme bei einer punktförmigen Körperschallanregung und bei einer Luftschallanregung relativ gesehen gleichwertige Werte abgab, wurden bei der Anregung mit einem Trittschallhammerwerk (s. DIN 52 210) am gleichen Objekt abweichende Werte festgestellt. Die Ursache dieser Differenzen müßte durch weitere Messungen geklärt werden.

6.2 Horizontale Körperschallausbreitung

Die horizontalen Körperschall-Ausbreitungsmessungen konnten wegen der gekrümmten Grundrißanordnung (s. Anl. 4) der Einzelräume an der Gitterziegelbauweise nicht durchgeführt werden, so daß ein Vergleich nur zwischen den übrigen 3 Bauweisen vorgenommen werden konnte.

Als Maß für die horizontale Körperschallausbreitung ist die durch eine Wohnungstrennwand bedingte Körperschallpegelabnahme in dB angegeben. Diese Körperschallpegelabnahme ist bei den einzelnen Meßfrequenzen (300, 700 und 1400 Hz) für die jeweiligen Bauweisen unterschiedlich. Für eine grobe Gesamtbeurteilung ist es daher zweckmäßig einen Mittelwert der Körperschallpegelabnahme für die gesamten Frequenzwerte anzugeben. Dieser Mittelwert beträgt:

Porenbeton-Schalenbauweise: 9,5 dB, Stahlbeton-Bauweise: 5,7 dB
Stahlbeton-Skelett-Bauweise: 6,3 dB.

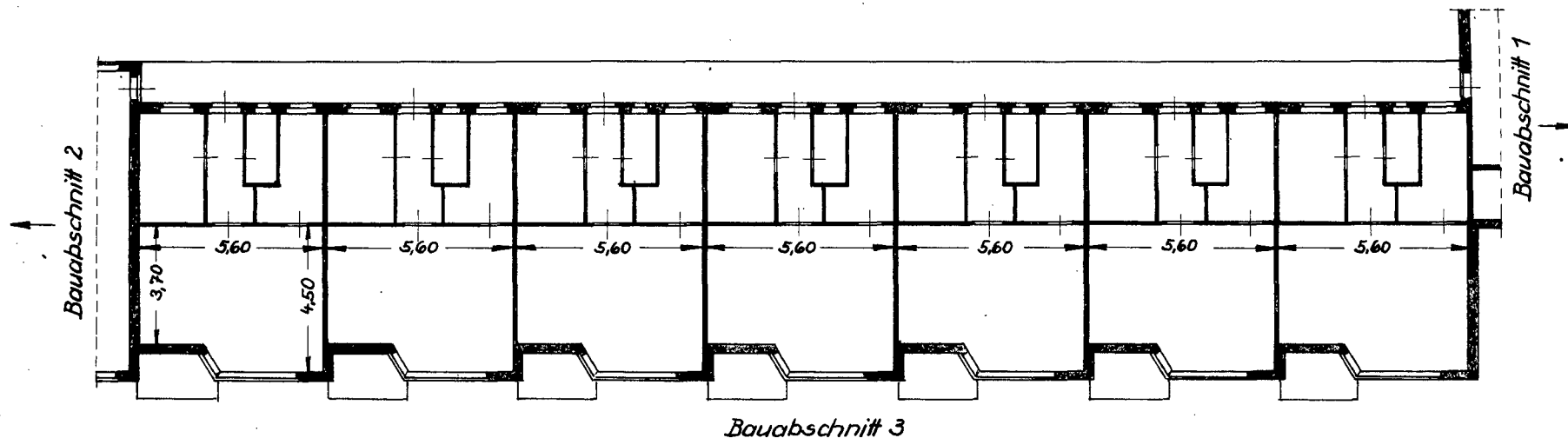
Aus diesen Werten für die jeweiligen Pegelabnahmen ist erkennbar, daß die Porenbeton-Schalenbauweise auch in horizontaler Richtung die größte Körperschallabnahme besitzt. Die horizontalen Ausbreitungsuntersuchungen wurden gleichzeitig dazu verwandt, um die Ausdehnung des Nah- und Fernfeldes für verschie-

dene Frequenzen festzustellen. Dabei ergab sich, daß bei 300 und 700 Hz das Nahfeld auf den Senderraum und den zunächst benachbarten Raum beschränkt bleibt, während das Nahfeld sich bei 1400 Hz auf den Senderraum und zwei benachbarte Räume ausdehnt. In weiterer Entfernung von der Schallquelle schließt sich an das Nahfeld das Fernfeld an. Im Fernfeld wurde immer eine mit wachsender Entfernung lineare Abnahme des Körperschallpegels festgestellt.

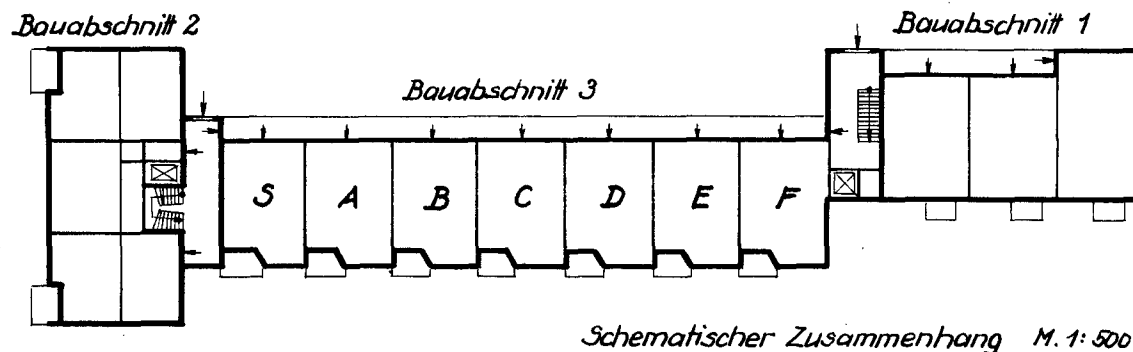
Schrifttum:

- 1.) Gösele, K. Schallabstrahlung von Platten
ACUSTICA, 1953, 4, 243
- 2.) Westphal, W. Zur Schallabstrahlung einer zu Biegeschwingungen angeregten Wand
Akustische Beihefte, 1954, 2, 603
- 3.) Grützmacher, M., Oberst, H., Martin, R.
Über die Weiterentwicklung einer Körperschallmeßmethode und ihre Anwendung in Bauten Teil I
Forschungsbericht an den Herrn Bundesminister für Wohnungsbau 1953
- 4.) Kristen, Th., Müller H.W.
Über die Weiterentwicklung einer Körperschallmeßmethode und ihre Anwendung in Bauten Teil II
Forschungsbericht an den Herrn Bundesminister für Wohnungsbau 1954

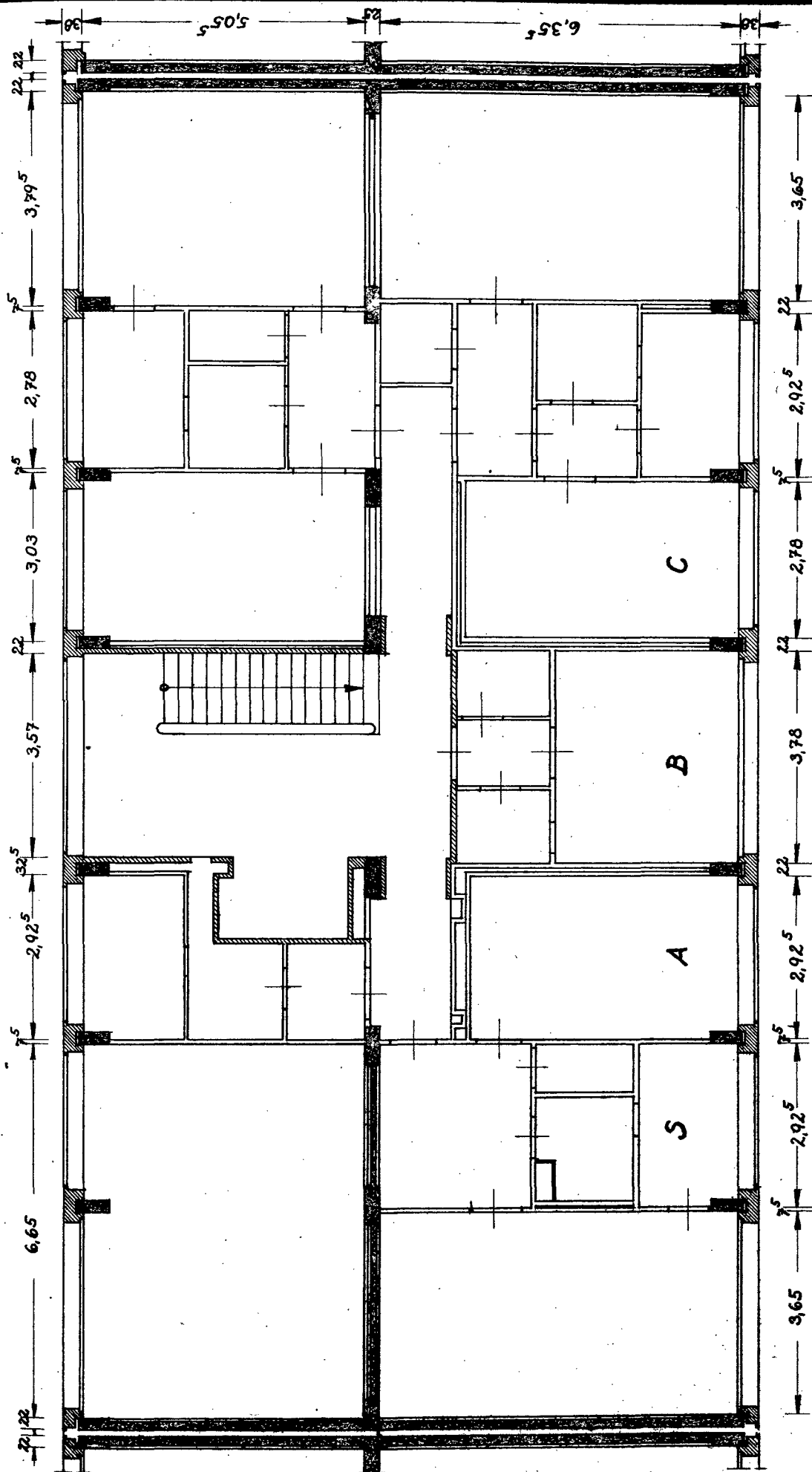
Anlagen 1 bis 7

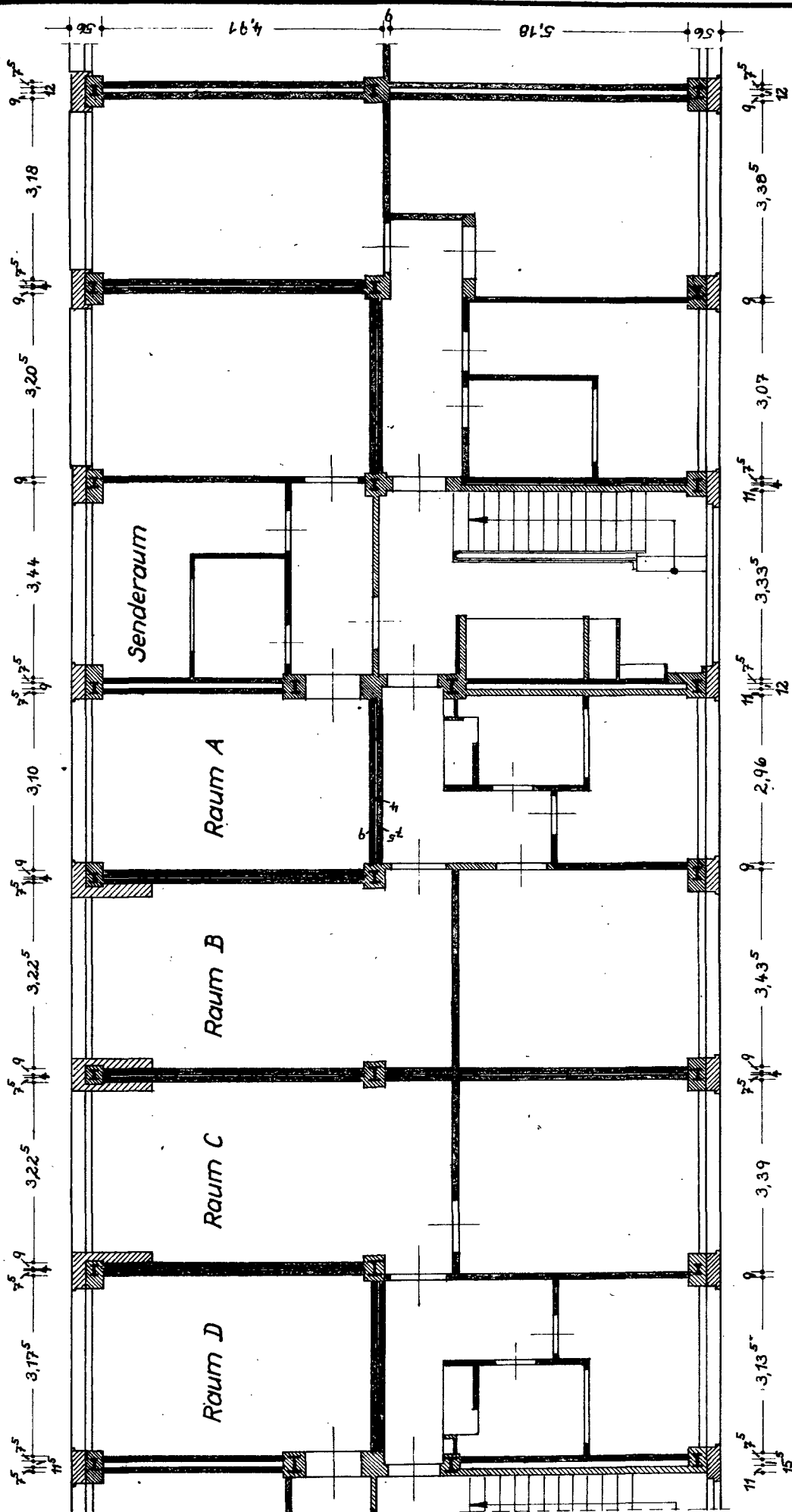


Außenwände : 15 cm Stahlbeton geschüttet, mit 10 cm Ytongverkleidung außen, 2 cm Kalkzementputz.
 Wohnungstrennwände: 15 cm Stahlbeton geschüttet, beidseitig 1,0 cm Kalkputz.
 Zwischenwände: 7,5 cm Ytong, beidseitig 1,0 cm Kalkputz.
 Decken: 16 cm dicke Stahlbetondecke, ohne Unterputz. 1,5 kg/m² Sillanwolle, 3 cm Zementestrich.



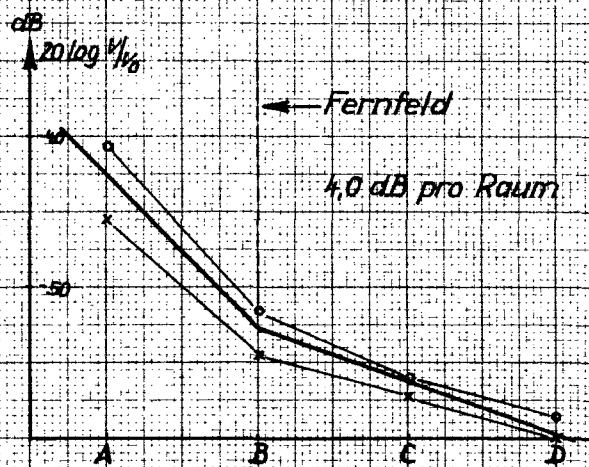
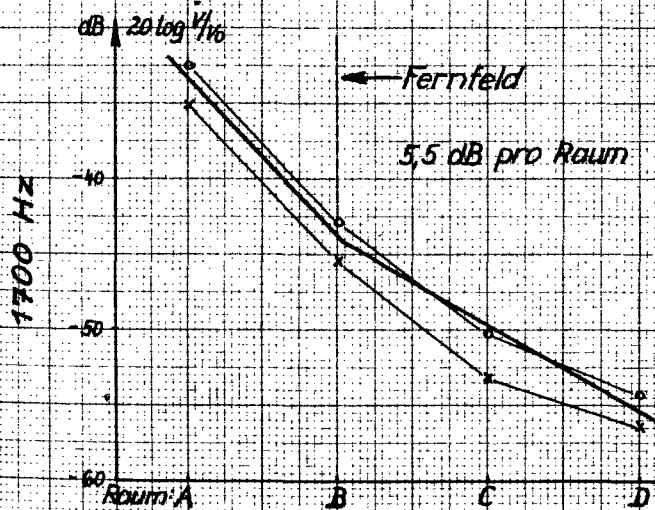
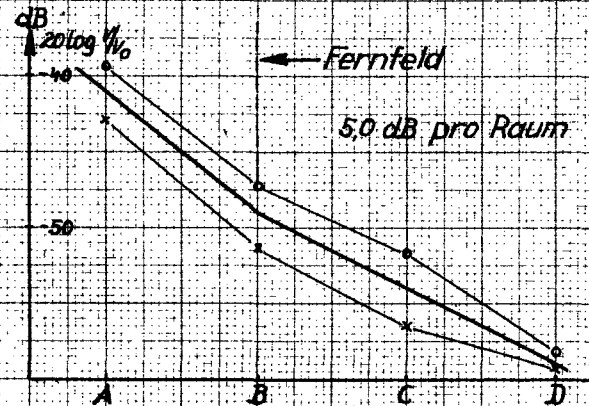
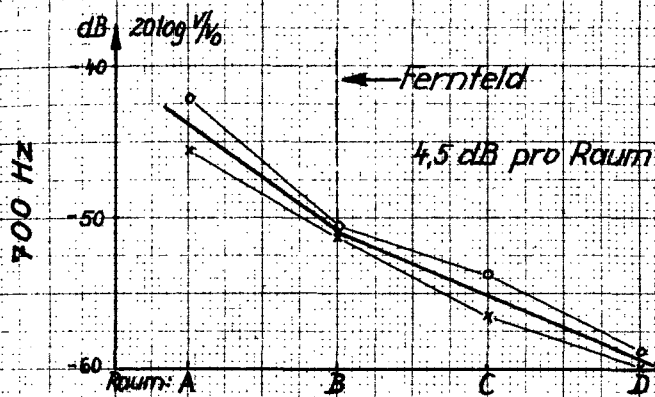
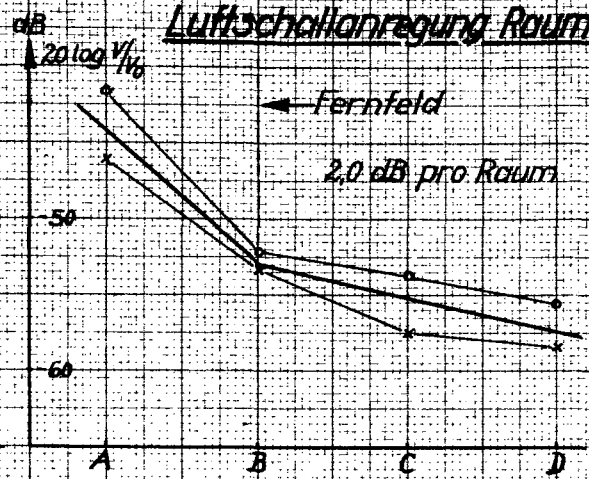
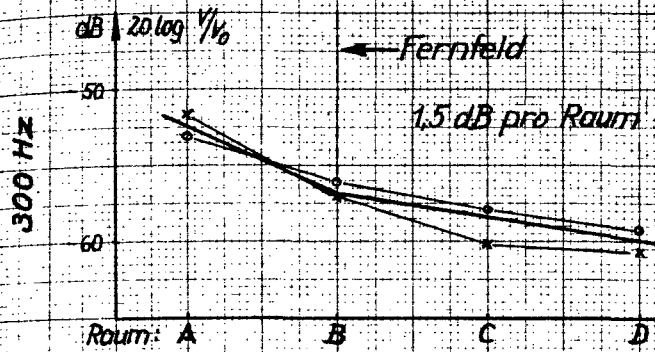
Schematischer Zusammenhang M. 1: 500





Körperschallanregung Raum S

Luftschallanregung Raum S



Anregung: Decke Raum S

Empfang: x Decke
o Außenwand

Anregung: Raum S

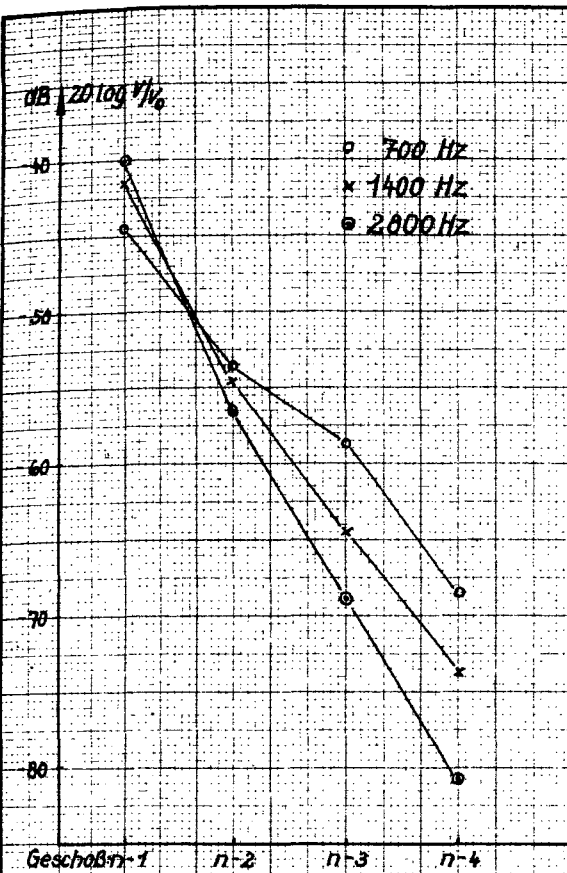
Empfang: x Decke
o Außenwand

- Ergebnis: 1. Decke und Außenwand zeigen bei den Anregungsformen etwa die gleiche Körperschallpegelabnahme
2. Bei Luft- und Körperschallanregung wird annähernd die gleiche Pegelabnahme der Bauteile ermittelt.
Diese Erkenntnisse gelten jedoch nur für das Fernfeld

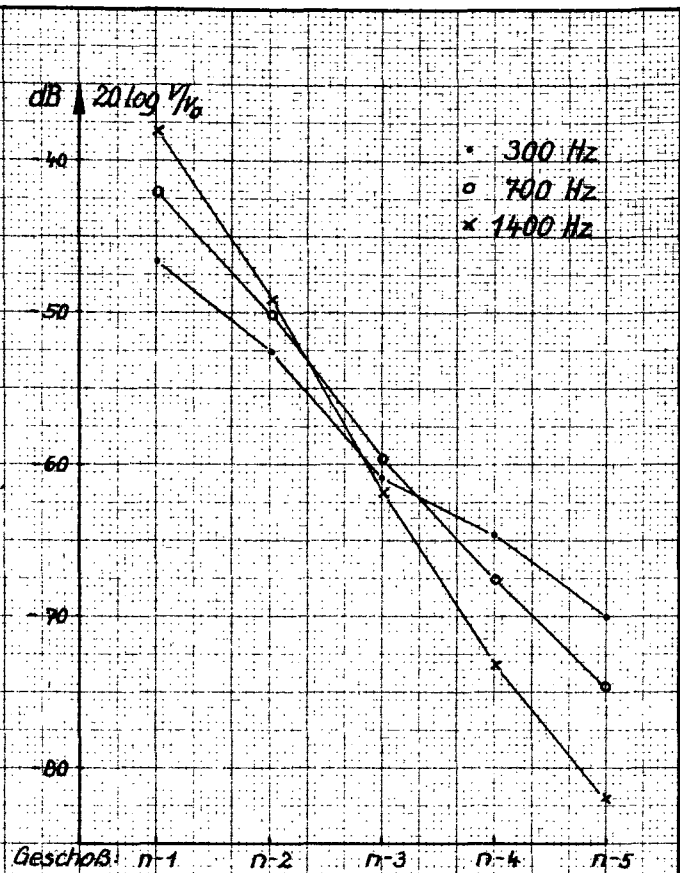
Körperschall-
untersuchungen
an Hochhäusern

Körperschallpegel von Bauteilen
bei verschiedenen Anregungsarten
(Stahlbetonbauweise)

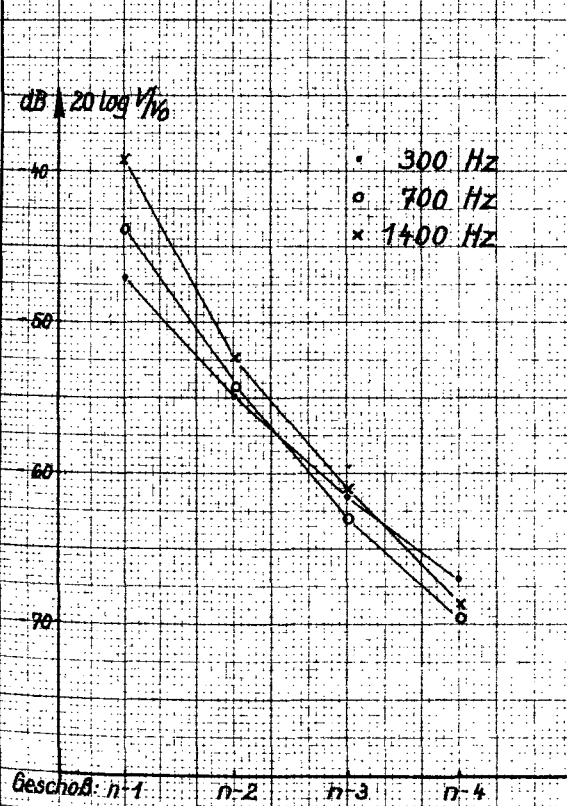
Anl. 5



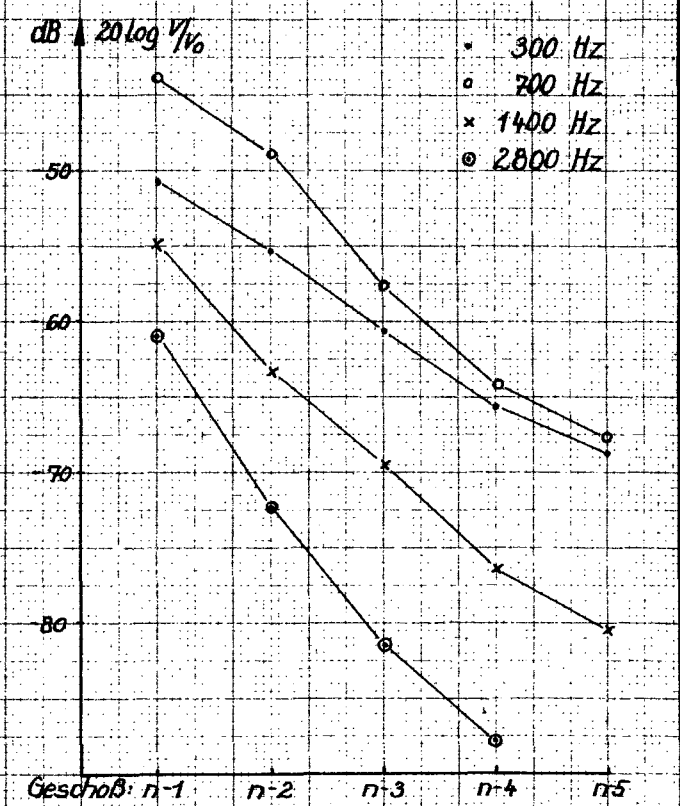
Porenbeton-Schalenbauweise



Stahlbetonbauweise



Stahlbeton-Skelettbauweise



Gitterziegelbauweise

Anregung: Piezoelektrische punktförmige Anregung
Empfang: Körperschallschnellen an den Geschoßdecken

Körperschall- untersuchungen an Hochhäusern	Vertikale Körperschallpegelabnahme übereinanderliegender Räume	Anl. 6
---	---	--------

